

ESTIMACION DEL INDICE DE EXCEDENCIA ASOCIADO AL OLEAJE EXTERIOR A PARTIR DE ESTADISTICAS SEA Y SWELL

MARIA JESUS MARTIN SOLDEVILLA(*)

RESUMEN. La operatividad que presenta una instalación portuaria suele ser evaluada en términos del número de días que al cabo del año una cierta altura de ola umbral es excedida.

Despreciando la existencia, poco frecuente, de un oleaje local, la agitación interior de un puerto dependerá, fundamentalmente, del período (T) y la dirección (Θ) asociados al oleaje exterior. Así pues, para analizar las excedencias es preciso conocer las características del oleaje en las direcciones de interés. En el momento actual, la ausencia de un volumen adecuado de registros de oleaje con contenido en información direccional determina que la forma más usual de abordar este análisis sea a través de las estadísticas elaboradas sea y swell.

ABSTRACT. *The harbour tranquility is usually evaluated by means of the number of days of a certain wave height exceedance.*

Neglecting the local wind waves presence, the harbour tranquility depends mainly on the wave period (T) and wave direction (Θ) associated to the incoming waves. Therefore the knowledge of the directional wave characteristics is necessary in order to analyze this exceedance. At the present, the lack of an appropriate amount of directional wave data records leads to carry out this analysis by means of the visual wave observations.

1. INTRODUCCION

La misión principal de cualquier instalación portuaria no sólo es brindar abrigo en situaciones de temporal, sino también garantizar «la tranquilidad» necesaria para que el tipo de barcos para el que ha sido diseñado puedan efectuar las operaciones de carga-descarga y maniobras de entrada-salida y atraque con las mínimas dificultades durante el máximo tiempo posible a lo largo del año.

Aunque «la tranquilidad» de un puerto hace referencia a los movimientos que experimentan los buques atracados y en ellos influye, no sólo la altura, sino también el período, la mayoría de los ensayos hidráulicos encaminados a determinar la operatividad que presentan distintas alternativas, hacen el análisis comparando el tiempo que se excede una altura de ola umbral prefijada con las distintas configuraciones analizadas.

El umbral de altura que se debe establecer es función del tipo de barco, tipo de operación y medios de trabajo disponibles (grúas, remolcadores...), existiendo una gran disparidad en los valores publicados sobre el tema.

Puesto que el estudio de agitación proporciona la altura de ola en cada punto de la malla de cálculo, si se optó por un modelo matemático, o en las zonas provistas de sondas, si se utilizó el modelo físico, y dado que se conoce la altura de ola generada a la entrada del modelo, físico o numérico, es posible definir un coeficiente de agitación como la relación entre la altura de ola en un punto y la existente a la entrada del modelo.

El análisis se efectúa para los oleajes más representativos asociados a las direcciones que, en función de la configuración de la costa y las obras existentes, puedan incidir en la zona de estudio. Concluidos los ensayos de agitación se establecen las zonas interiores de mayor interés, dársenas de fondeo de embarcaciones menores, zonas de operación y atraque de distintos buques, etc., determinándose, en cada una de ellas, un coeficiente medio de agitación, función del umbral considerado.

2. INDICE DE EXCEDENCIA DEL OLEAJE EXTERIOR

La excedencia de una determinada altura de ola, H_{INT} , en una zona interior del puerto, implica que en la entrada del modelo se exceda $H_R = H_{INT}/\bar{a}$ siendo $\bar{a}$ el valor del coeficiente medio de agitación de la zona considerada y que, a su vez, se supere la altura $H_s = H_R/K_R$ en profundidades indefinidas, siendo K_R el coeficiente de refracción-shoaling-difracción que resulta de propagar

(*) Jefe del Sector de Estudios Portuarios del Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX.

el oleaje desde aguas profundas, hasta la zona de aplicación del modelo de agitación.

Conociendo la altura H_o basta acudir a los regímenes medios de oleaje calculados para obtener la probabilidad de superación de la altura de ola H_o por el oleaje exterior de una determinada dirección. Esta probabilidad, multiplicada por el número de días/año proporciona el Índice de Excedencia correspondiente.

Ahora bien, puesto que la fuente visual de partida [tablas de doble entrada H_o/T_o , agrupadas según la amplitud del sector solicitado (tabla 1a y 1b)] no proporciona información sobre las observaciones simultáneas sea y swell, y puesto que el estado real del mar es una combinación de ambos, el problema se plantea a la hora de establecer una probabilidad única final.

Dos puntos claves hay que tener en cuenta para abordar el problema:

- Los sucesos sea y swell son sucesos independientes y no excluyentes.
- El suceso superación o no superación de un determinado nivel de la variable en una dirección está condicionado por la presentación del sector analizado.

El primer punto implica que la probabilidad de que un determinado nivel de la variable sea superado por el sea, por el swell o por ambos (suceso unión) es, por la teoría de probabilidades:

$$P(\text{SEA} \cup \text{SWELL}) = P(\text{SEA}) + P(\text{SWELL}) - P(\text{SEA} \cap \text{SWELL})$$

siendo la probabilidad de la intersección:

$$P(\text{SEA} \cap \text{SWELL}) = P(\text{SEA}) \cdot P(\text{SWELL}/\text{SEA})$$

donde la probabilidad condicional es, por la condición de independencia:

$$P(\text{SWELL}/\text{SEA}) = P(\text{SWELL})$$

luego la probabilidad de superación de un determinado nivel de la variable por el sea, por el swell o por ambos será:

$$P(\text{SEA} \cup \text{SWELL}) = P(\text{SEA}) + P(\text{SWELL}) - P(\text{SEA}) \cdot P(\text{SWELL})$$

y la probabilidad del suceso complementario de no superación ($\bar{\text{SEA}}$), ($\bar{\text{SWELL}}$) es, desarrollando la ecuación anterior:

$$P(\bar{\text{SEA}} \cap \bar{\text{SWELL}}) = 1 - P(\text{SEA} \cup \text{SWELL}) = P(\bar{\text{SEA}}) \cdot P(\bar{\text{SWELL}})$$

Además, al tratarse de un régimen direccional, condicionado por la presentación del sector correspondien-

te, el cálculo de la probabilidad real debe tener en cuenta la frecuencia de presentación del sector analizado.

Dada, como se indicó, la ausencia de información que suministra la fuente analizada sobre las observaciones simultáneas sea y swell, dos aproximaciones pueden, en principio, plantearse para estimar la probabilidad buscada.

2.1. REGIMENES MEDIOS DIRECCIONALES SEA Y SWELL

Una manera de abordar el problema es analizar el sea y el swell independientemente, calculando finalmente la probabilidad del suceso unión.

La metodología utilizada en esta aproximación es la siguiente:

Se calcula la frecuencia de presentación de cada sector de interés (p_{ij} , i = sector j = sea o swell), como el cociente entre el número de observaciones del sector analizado y el total de observaciones más las calmas. Esto supone agrupar todas las calmas en un sector adicional, lo cual se ajusta bien a la realidad, puesto que una calma carece de dirección pero representa un estado concreto del mar.

Para cada dirección de ensayo y zona de cálculo establecida se determina la altura H_o correspondiente en alta mar ($H_o = H_{(NY)} \sqrt{a} \cdot K_p$), calculándose la probabilidad de no excedencia, por el sea y por el swell [$F_{i,j}(H_o)$], bien directamente a partir de las rectas de ajuste trazadas, bien de forma más compleja sustituyendo los parámetros de ajuste obtenidos en la expresión de la función de distribución utilizada.

Puesto que estas probabilidades están condicionadas a la de presentación del sector correspondiente, $P_{i,j}$, la probabilidad real de no superación de la altura H_o por el suceso considerado (sea o swell) en el sector analizado será:

$$F_{i,j}(H_o) = F_{i,j}(H_o) \cdot P_{i,j}$$

i = sector analizado
 j = sea o swell

Englobando todas las direcciones no analizadas, incluyendo las calmas, en un sector adicional, que denominaremos sector RESTO, y admitiendo la hipótesis algo simplificada de que estas direcciones no contribuyen a la agitación interior, podemos establecer que en ellas, la probabilidad de que no se supere cualquier nivel de la variable analizada es la unidad ($F_{i,j}(H_o) = 1,0$), siendo su frecuencia de presentación ($P_{i,j}$) la unidad menos la suma de las probabilidades de presentación de los sectores analizados,

$$P_{i,j} = 1 - \sum_{i=1}^n P_{i,j}$$

i = sectores analizados
 j = sea o swell

con lo que la probabilidad total de no superación, $F_{R,j}(H_s)$, del sector RESTO es:

$$F_{R,j} = F_{r,j}(H_s) \cdot P_{r,j} = P_{r,j}$$

Puesto que con la forma de cálculo establecido se consideran todos los sectores, basta con sumar todas las contribuciones para obtener la probabilidad de que, con el tipo de oleaje analizado, sea o swell, no se supere la altura de ola establecida. Obviamente, en esta suma habrá que considerar la contribución del sector RESTO puesto que, dada la hipótesis de partida (los sectores no considerados no introducen agitación), éste también contribuye en el suceso «no superación».

Así pues, la expresión final queda de la forma:

$$F_{R,j}(H_s) = \sum_{i=1}^n F_{r,i,j}(H_s) + F_{r,j}$$

i = sectores analizados

j = sea o swell

Además, dado que el estado real del mar es una combinación de ambos, sea y swell, la probabilidad total que determina el porcentaje de tiempo en que, para el año climático medio, la variable analizada no excede un determinado valor, será la correspondiente a la probabilidad del suceso unión

Tal y como se indicó por la teoría de probabilidades, y siguiendo un sencillo desarrollo, se demuestra que la probabilidad de que un nivel H_s de la variable no sea superado ni por el sea, ni por el swell, ni por ninguno de los dos simultáneamente, es:

$$F_T(H_s) = F_{T,SEA}(H_s) \cdot F_{T,SWELL}(H_s)$$

de la que se puede obtener directamente la complementaria de superación que es la que interesa para el cálculo

$$\begin{aligned}\Phi_T(H_s) &= 1 - F_T(H_s) = \\ &= 1 - F_{T,SEA}(H_s) \cdot F_{T,SWELL}(H_s)\end{aligned}$$

Esta probabilidad, multiplicada por el número de días del año, proporciona el índice de excedencia (IE) buscado:

$$IE = \Phi_T(H_s) \cdot 365$$

Una forma más directa de llevar a cabo el cálculo es efectuar el análisis con la probabilidad de excedencia, en cuyo caso no es preciso definir el sector RESTO.

Para ello, una vez calculada la frecuencia de presentación de cada sector, $P_{i,j}$, y determinada la altura H_s en alta mar cuya probabilidad se desea conocer, se establece la probabilidad de superación ($\Phi_{i,j}(H_s)$) como la complementaria a la que se obtiene del régimen ($F_{i,j}(H_s)$) correspondiente,

$$\Phi_{i,j}(H_s) = 1 - F_{i,j}(H_s)$$

Esta probabilidad multiplicada por la de presentación del sector $P_{i,j}$ nos da la probabilidad total de superación del nivel H_s por el suceso sea o swell analizado

$$\Phi_{r,j}(H_s) = \Phi_{i,j}(H_s) \cdot P_{i,j}$$

i = sector analizado

j = sea o swell

Estableciéndose finalmente la probabilidad de superación del suceso unión mediante la expresión anteriormente desarrollada.

De este modo, teniendo en cuenta la condición de independencia y de no exclusividad, se obtiene:

$$\begin{aligned}\Phi_{T,(SEA \cup SWELL)}(H_s) &= \Phi_{i,SEA}(H_s) + \\ &+ \Phi_{i,SWELL}(H_s) - \Phi_{i,SEA}(H_s) \cdot \Phi_{i,SWELL}(H_s)\end{aligned}$$

i = sector

que para n sectores:

$$\begin{aligned}\Phi_{T,(SEA \cup SWELL)}(H_s) &= \sum_{i=1}^n [\Phi_{i,SEA}(H_s) + \\ &+ \Phi_{i,SWELL}(H_s) - (\Phi_{i,SEA}(H_s) \cdot \Phi_{i,SWELL}(H_s))]\end{aligned}$$

$i = 1$ a n sectores

siendo:

$$\Phi_{i,j}(H_s) = \Phi_{i,j}(H_s) \cdot P_{i,j} = [1 - F_{i,j}(H_s)] P_{i,j}$$

i = sector

j = sea o swell

Esta probabilidad, multiplicada por el número de días/año, da directamente el índice de excedencia buscado.

Lógicamente con esta forma de cálculo no se considera el denominado sector RESTO debido a la hipótesis de partida de que las direcciones no analizadas no contribuyen a la agitación interior.

2.2. REGIMEN MEDIO SEA + SWELL DIRECCIONAL

Dadas las características de la información de partida puede plantearse otra aproximación definiendo, para cada dirección, un único régimen sea + swell como el producto de los regímenes condicionales de los dos sucesos independientes y afectado por una frecuencia de presentación dada por el cociente entre número de observaciones del sea y del swell en el sector analizado y el total de observaciones del sea y swell incluyendo las calmas.

Una vez determinado el régimen sea + swell y la

frecuencia de presentación de la forma establecida, la metodología a seguir es análoga a la desarrollada en la aproximación anterior.

Así pues, una vez conocida la altura de ola en alta mar H_o , basta con acudir al régimen sea + swell estimado para determinar la probabilidad de no superación o, mejor, para simplificar los cálculos, la complementaria de superación que, multiplicada por la frecuencia de presentación de la dirección analizada y por el número de días/año, nos dará el IE buscado.

Obviamente los resultados obtenidos con una y otra aproximación diferirán en mayor o menor medida dependiendo de la frecuencia de presentación de los sucesos sea y swell y de la variación que presentan los regímenes de partida. Sin embargo, el desconocimiento real de las observaciones simultáneas sea y swell, junto con la baja calidad de la observación visual, determina que ambas aproximaciones puedan considerarse, a efectos comparativos, válidas.

Resulta, pues, evidente que este parámetro (IE) es un parámetro de estima orientativo que coincidiría con

el número de días que al cabo del año la altura de ola umbral establecida es superada en un punto interior si los regímenes direccionales de partida fuera exactos.

Sin embargo, las limitaciones que presenta la información de partida obliga a utilizar distintas aproximaciones, más o menos realistas, que unido a la incertidumbre asociada a la propia observación, consecuencia de la simplicidad del método de medida utilizado, disminuye la bondad de la estima.

3. CASO PRACTICO

Para ilustrar el problema se han considerado las observaciones correspondientes a un área marítima determinada agrupadas en sectores de 45° de amplitud (figuras 1a y 1b); las direcciones de estudio fueron las correspondientes a los sectores N, NE y NW. La selección se efectuó atendiendo a la frecuencia de presentación de cada sector.

De esta forma, mientras que en la dirección N ambas, sea y swell, tienen una frecuencia de presentación

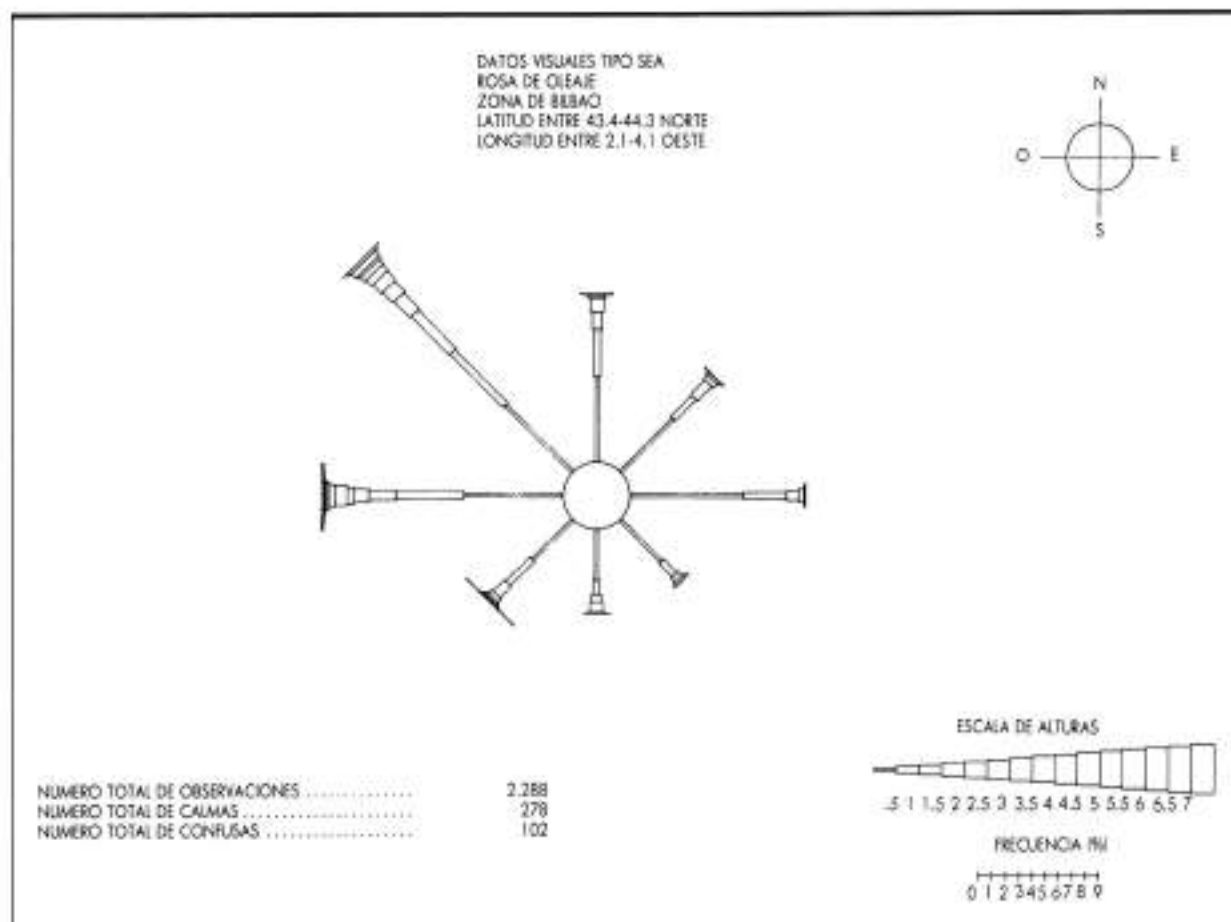


FIGURA 1A. Rosa de oleaje tipo sea.

PUERTOS Y COSTAS

SECTOR ENTRE 292.50-337.50 (grados) DISTRIBUCION ALTURAS/PERIODOS-Tipo: SEA																
ZONA DE : CANTABRICO																
LATITUD ENTRE : 43.4-44.4 NORTE																
LONGITUD ENTRE : 2.1-4.1 OESTE																
PERIODOS/Sig	5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	22-23	TOTALES	T. ACU	%	T. %	CALMAS	PRT
ALTURAS/m																
0,0	0,5	17	130	3							150	150	27,2	27,2	35	6,6
0,5	1,0	26	110	6	1					2	145	295	26,3	53,5		6,3
1,0	1,5	14	80	6	5						105	400	19,1	72,6		4,6
1,5	2,0	4	30	9	1						44	444	8,0	80,6		1,9
2,0	2,5	2	23	4							29	473	5,3	85,8		1,3
2,5	3,0	3	12	2	6	1					24	497	4,4	90,2		1,0
3,0	3,5	2	5	5	1	3					16	513	2,9	93,1		0,7
3,5	4,0	2	4	3	3						12	525	2,2	95,3		0,5
4,0	4,5			3	1	2					6	531	1,1	96,4		0,3
4,5	5,0		1	10	1						12	543	2,2	98,5		0,5
5,0	5,5		1								1	544	0,2	98,7		0,0
5,5	6,0		1	2	1	1					6	550	1,1	99,8		0,3
6,0	6,5															
6,5	7,0															
7,0	7,5			1							1	551	0,2	100,0		0,0
7,5	8,0															
8,0	8,5															
8,5	9,0															
9,0	9,5															
9,5	10,0															
10,0	10,5															
10,5	11,0															
11,0	11,5															
11,5	12,0															
TOTALES:	70	397	53	21	5	3				2	551					
T. ACUM.	70	467	520	541	546	549				551						
% PER.	12,7	72,1	9,6	3,8	0,9	0,5				0,4						
T. % AC.	12,7	84,8	94,4	98,2	99,1	99,6				100,0						
DATOS TOTALES EN EL SECTOR: 551																
% DE DATOS DEL SECTOR: 24,08																
BLA 1A.																

DATOS TOTALES EN EL SECTOR: 551
% DE DATOS DEL SECTOR: 24,08

TABLA 1A.

PUERTOS Y COSTAS

SECTOR ENTRE 292.50-337.50 (grados) DISTRIBUCION ALTURAS/PERIODOS-Tipo: SWELL

ZONA DE : CANTABRICO
LATITUD ENTRE : 43.4-44.4 NORTE
LONGITUD ENTRE : 2.1-4.1 OESTE

PERIODOS/5g	5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19	20-21	22-23	TOTALES	T. ACU	%	T. %	CALMAS	PRT
ALTURAS/m																
0,0	0,5	3	21	10	7	11	2	3			57	57	5,6	5,6	16	3,2
0,5	1,0	15	31	54	52	16	8	9			185	242	18,2	23,8		10,4
1,0	1,5	23	16	60	47	26	30	14	1		217	459	21,4	45,2		12,2
1,5	2,0	15	17	36	26	44	18	3			159	618	15,7	60,9		8,9
2,0	2,5	2	4	32	34	34	3	3			112	730	11,0	71,9		6,3
2,5	3,0	1	1	18	22	16	24	3			85	815	8,4	80,3		4,8
3,0	3,5	3	7	7	21	12					43	858	4,2	84,5		2,4
3,5	4,0	3	1	13	18	20	3	6			64	922	6,3	90,8		3,6
4,0	4,5	4	4		4	3	1				16	938	1,6	92,4		0,9
4,5	5,0	2	1	12	9						24	962	2,4	94,8		1,3
5,0	5,5			2	4	2					8	970	0,8	95,6		0,4
5,5	6,0		7	7	11	2					27	997	2,7	98,2		1,5
6,0	6,5				5						5	1.002	0,5	98,7		0,3
6,5	7,0			3		2					5	1.007	0,5	98,7		0,3
7,0	7,5															
7,5	8,0			1		1	2				4	1.011	0,4	99,6		0,2
8,0	8,5															
8,5	9,0															
9,0	9,5															
9,5	10,0	1		2							3	1.014	0,3	99,9		0,2
10,0	10,5															
10,5	11,0															
11,0	11,5															
11,5	12,0				1						1	1.015	0,1	100,0		0,1
TOTALES:	72	96	237	258	212	96	43	1								
T. ACUM.	72	168	405	663	875	971	1.014	1.015								
% FBL.	7,1	9,5	23,3	25,4	20,9	9,5	4,2	0,1								
T. % AC.	7,1	16,6	39,9	65,3	86,2	95,7	99,9	100,0								

DATOS TOTALES EN EL SECTOR: 1.015
% DE DATOS DEL SECTOR: 56,86

TABLA 18.

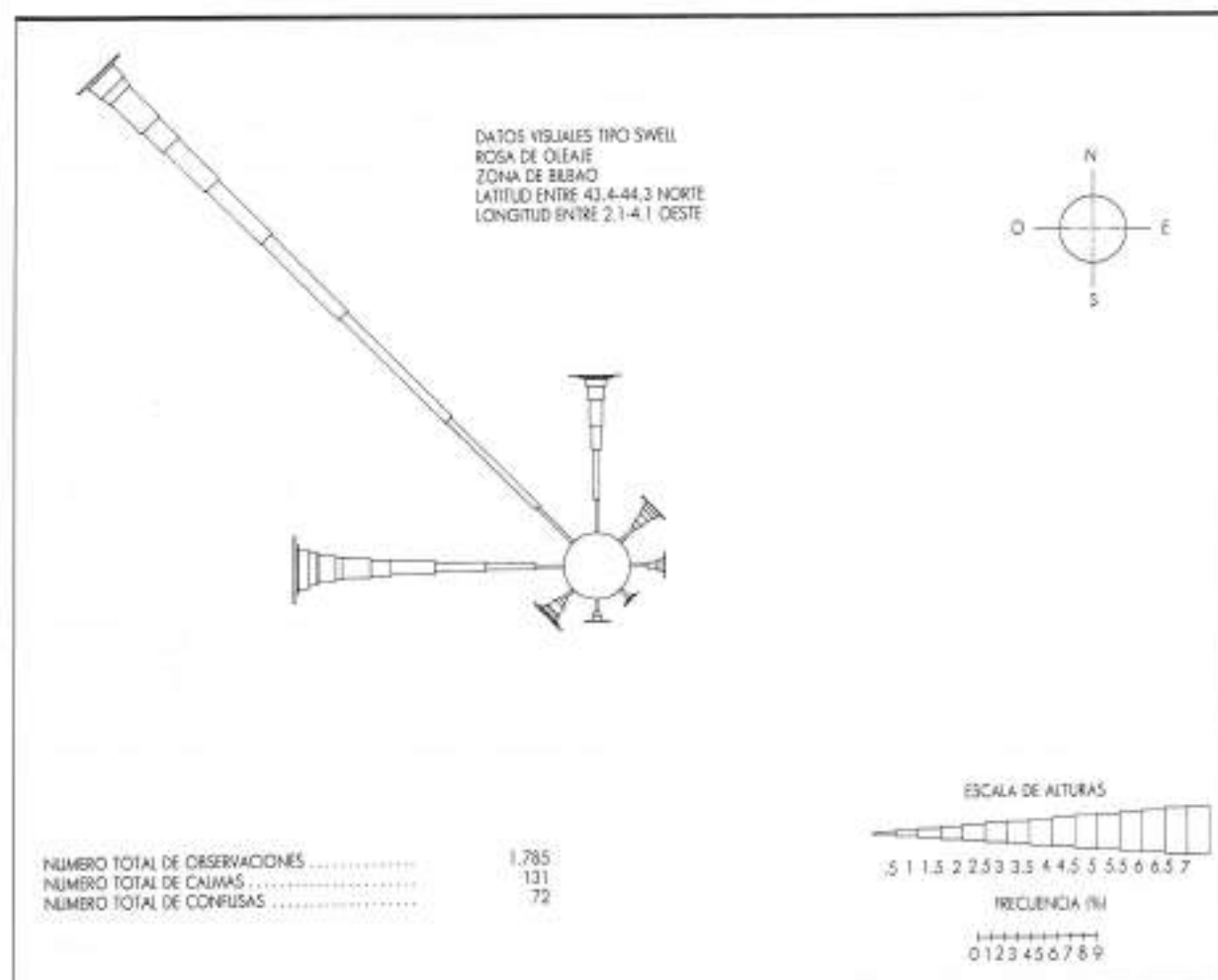


FIGURA 1B. Rosa de oleaje tipo swell.

muy parecida, en el sector NE existe un claro predominio de los oleajes tipo sea, ocurriendo lo contrario en la dirección NW.

Siguiendo la metodología desarrollada, las observaciones de cada dirección fueron ajustadas a la función de distribución (FD) lognormal, cuya expresión tiene la forma:

$$F(x) = \frac{1}{B\sqrt{2\pi}} \int_0^x \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - A}{B} \right)^2} dx$$

donde A y B son los parámetros de la distribución.

El ajuste se efectuó, tanto para el sea como para el swell, de forma visual, dando más peso a la zona central por ser la de mayor definición e interés para este tipo de análisis.

Con objeto de aplicar las dos metodologías expuestas una vez determinados los regímenes del sea y del swell

se calculó el régimen sea + swell como producto de los dos previamente calculados.

Los parámetros de ajuste obtenidos para cada dirección con los sucesos considerados se recogen en la tabla 2. En ella también se incluyen las frecuencias de presentación correspondiente.

Por su parte, las figuras 2 a 4 muestran los regímenes del sea, swell y sea + swell de las direcciones de ensayo, N, NE y NW, respectivamente.

Además, para evaluar la influencia de la zona de la distribución (colas superior e inferior y zona media) en la estima efectuada con una y otra aproximación, se establecieron varios niveles de altura H_s , que cubrían todo el intervalo de variación.

Los análisis se efectuaron utilizando directamente la probabilidad de excedencia.

En la tabla 3 se recogen las alturas de ola H_s seleccionadas, las probabilidades de no excedencia correspondientes y las de presentación de los sucesos analiza-

DIRECCION	OLEAJE	PARAMETRO				
		F. D. LOG. NORMAL		N.º OBS	P _{SECTOR}	P _{RESTO}
		A	B			
N	SEA	-0,4463	0,6286	294	0,1146	0,8854
	SWELL	0,0862	0,5661	219	0,1143	0,8857
	SEA U SWELL	0,2390	0,5357	513	0,1145	0,8855
NE	SEA	-0,5621	0,6574	229	0,0892	0,9108
	SWELL	0,0583	0,7325	58	0,0303	0,9697
	SEA U SWELL	0,2231	0,6606	287	0,0640	0,9360
NW	SEA	-0,0513	0,7691	551	0,2147	0,7853
	SWELL	0,4700	0,6614	1.015	0,5297	0,4703
	SEA U SWELL	0,6729	0,6029	1.566	0,3494	0,6506

— TOTAL OBSERVACIONES SEA: 2.566
 — TOTAL OBSERVACIONES SWELL: 1.916 INCLUIDAS CALMAS

TABLA 2. Características de las direcciones analizadas.

dos, incluyéndose, asimismo, el índice de excedencia final obtenido con la aproximación 1 (IE1) y 2 (IE2).

4. CONCLUSIONES

- No es posible calcular un IE exacto a partir de estadísticas sea y swell dadas las limitaciones que estos datos presentan en cuanto a información y calidad de medida.
- Dado que el sea y el swell son sucesos independientes pero no excluyentes, no es correcto agrupar las observaciones de ambos por intervalos en base a definir un único régimen medio direccional.
- El utilizar esa forma de cálculo supone considerar que no pueden presentarse simultáneamente ambos oleajes en la misma dirección. Esto implica dar más peso a la cola baja de la distribución donde la densidad de observaciones es mayor debido a la tendencia lógica a navegar en situaciones de calma.
- Puesto que la segunda aproximación supone que ambos sucesos son igualmente probables, cuando el oleaje más frecuente sea el oleaje tipo sea, el IE obtenido se encontrará mayorado respecto al calculado

con la primera forma de cálculo. Sucediendo lo contrario cuando el swell sea el oleaje reinante.

La situación se invertirá cuando los regímenes de los sucesos independientes presenten un punto de cruce común.

Finalmente cabe señalar que el IE calculado a partir de estadísticas elaboradas sea y swell es un valor estadístico aproximado de los días de excedencia que la altura de ola umbral establecida es superada en una zona determinada. Dependiendo de la calidad de la muestra de partida y de la «bondad» de las aproximaciones utilizadas, la estima efectuada se ajustará más o menos al valor real.

5. BIBLIOGRAFIA

- GODA, Y. (1985). «Random seas and Design of Maritime Structures», University of Tokyo Press, Japan.
 MARTIN SOLDEVILLA, M. J., y MARTINEZ ARANZABAL, J. (1990). «Análisis medio y extremal del oleaje» C22, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.
 SIXTOS RIOS (1971). «Métodos Estadísticos», 6.ª ed. Ediciones del Castillo, S. A.

PUERTOS Y COSTAS

SECTOR	H _o m	APROXIMACION 1					APROXIMACION 2		
		(H _o) F _{fl,swell}	P _{i,swell}	(H _o) F _{fl,sea}	P _{i,sea}	* IE (1)	P _i	F _{fl,i}	* IE (2)
N	1,0	0,44000	0,1143	0,74300	0,1146	33,40	0,1145	0,32700	28,00
	1,5	0,70000		0,89500		16,80		0,62650	15,60
	2,0	0,95300		0,84000		8,60		0,80000	8,40
	3,0	0,95500		0,98800		2,40		0,94300	2,40
	4,0	0,98500		0,99620		0,80		0,98100	0,80
	5,0	0,99450		0,99869		0,30		0,99300	0,30
	7,0	0,99910		0,99975		0,05		0,99885	0,05
	8,0	0,99956		0,99990		0,02		0,99946	0,02
	9,0	0,99980		0,99995		0,01		0,99975	0,01
NE	1,0	0,46000	0,0303	0,79000	0,0892	12,70	0,0640	0,36340	14,80
	1,5	0,67000		0,92000		6,20		0,61640	8,90
	2,0	0,80000		0,96500		3,30		0,77200	5,30
	3,0	0,91500		0,99200		1,20		0,90768	2,20
	4,0	0,96000		0,99750		0,52		0,95760	0,99
	5,0	0,98000		0,99920		0,25		0,97922	0,49
	7,0	0,99350		0,99988		0,08		0,99338	0,15
	8,0	0,99600		0,99995		0,06		0,99559	0,09
	9,0	0,99800		0,99998		0,02		0,99798	0,05
NW	1,0	0,24500	0,5297	0,52500	0,2147	168,30	0,3494	0,12860	111,10
	1,5	0,46000		0,72000		120,00		0,33120	85,30
	2,0	0,62000		0,82000		84,70		0,50840	62,70
	3,0	0,81000		0,93200		41,50		0,75492	31,20
	4,0	0,90500		0,96300		21,12		0,87150	16,40
	5,0	0,95000		0,98100		11,20		0,93100	8,80
	7,0	0,98300		0,99300		3,83		0,97611	3,04
	8,0	0,99000		0,99600		2,24		0,98604	1,78
	9,0	0,99400		0,99730		1,37		0,99131	1,10

$$A = (1 - F_{fl,swell}) \cdot H_o^3 \cdot P_{i,swell}$$

$$B = (1 - F_{fl,sea}) \cdot H_o^3 \cdot P_{i,sea}$$

$$IE (1) = (A + B - A \cdot B) \cdot 365$$

$$IE (2) = (1 - F_{fl,i}) \cdot P_i \cdot 365$$

TABLA 3. Índices de excedencia estimados con las dos aproximaciones.

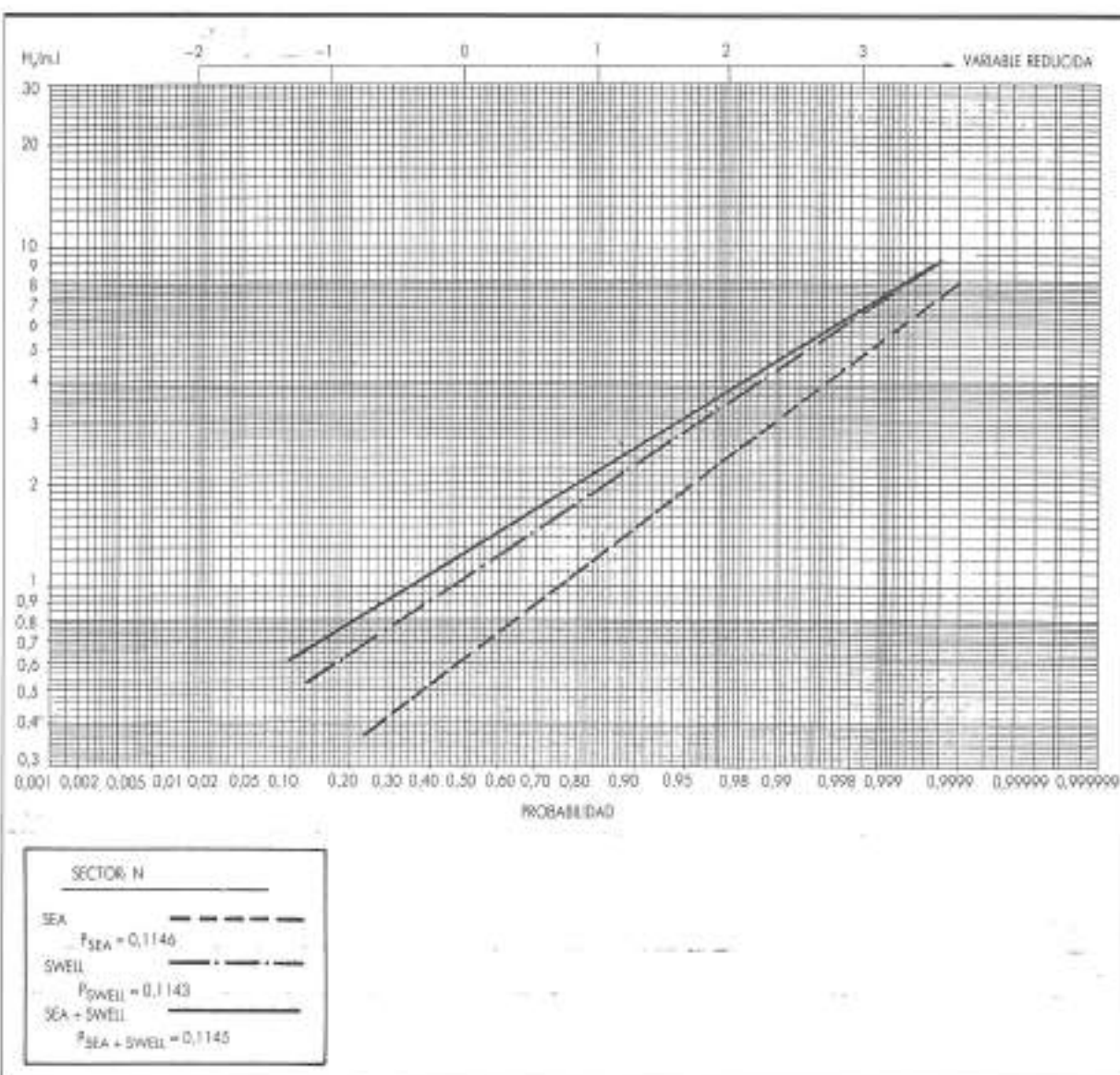


FIGURA 2. Régimen mado dirección N.

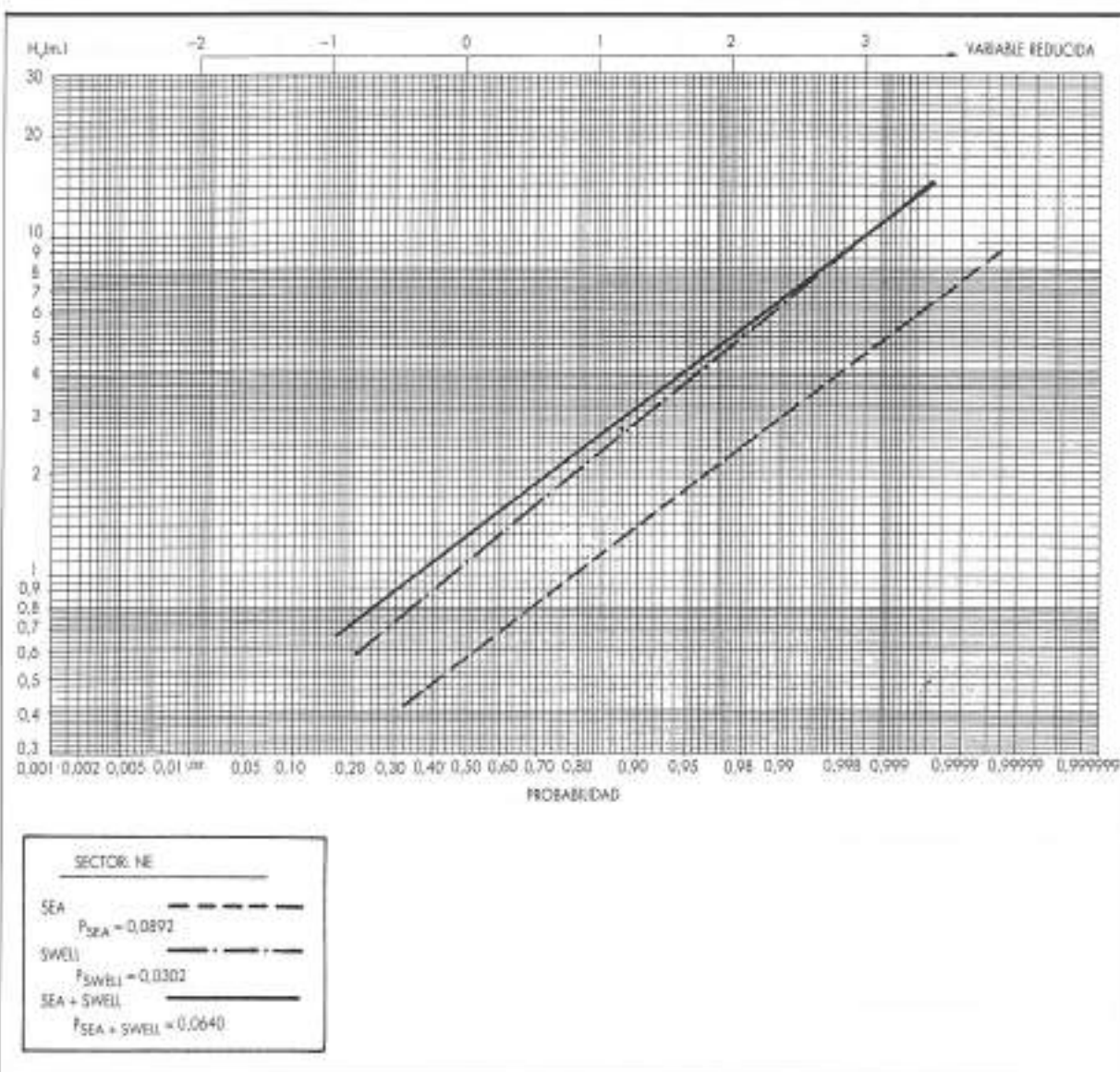


FIGURA 3. Régimen hacia dirección NNE.

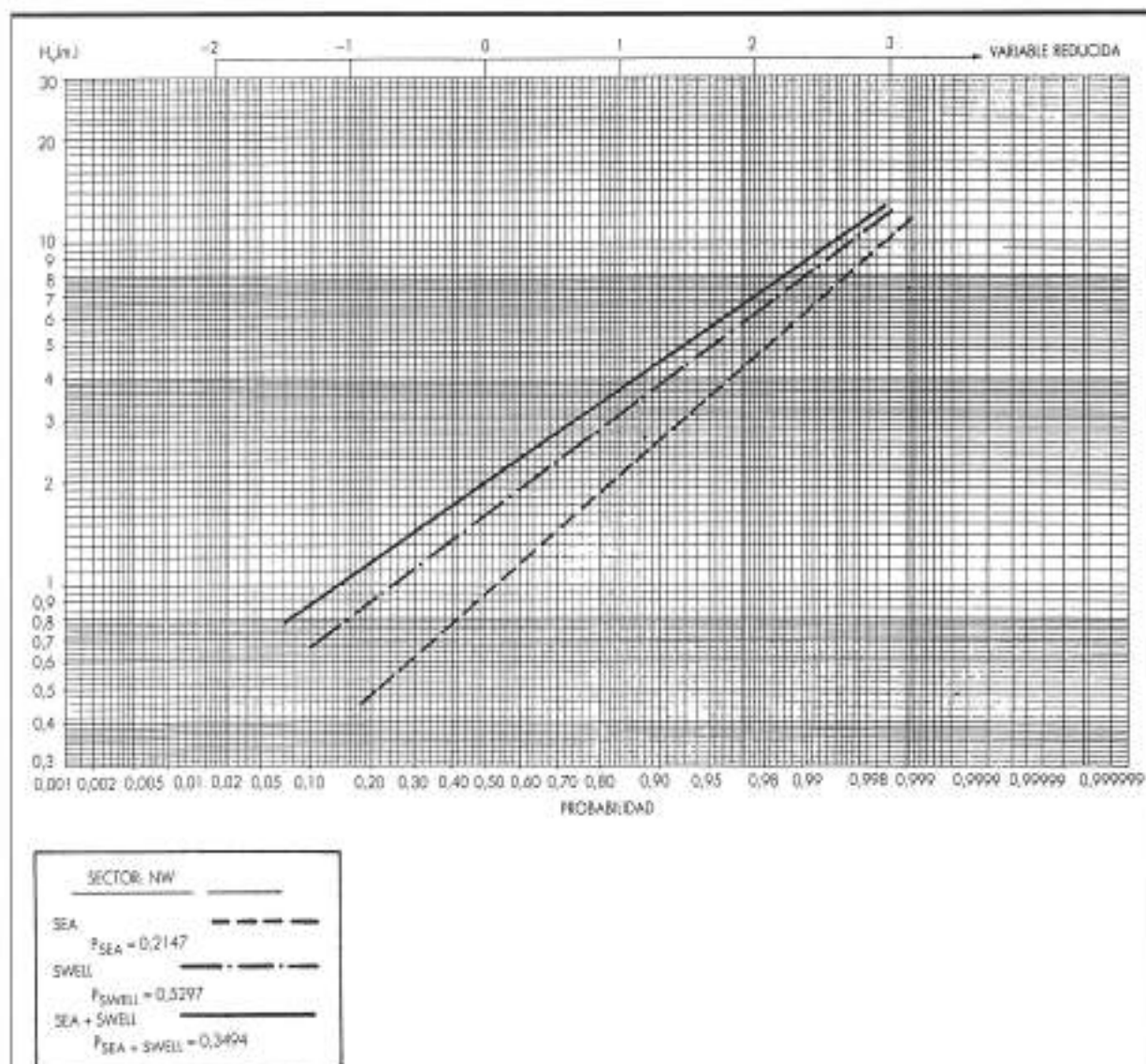


FIGURA 4. Régimen medio dirección NNW.